

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Mario Dukarić**

**PRORAČUN EKSPLOATACIJSKIH PARAMETARA APU-a**  
**NA ZRAKOPLOVU AIRBUS A320**

**Završni rad**

**Zagreb, 2018.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 28. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Eksploatacija i održavanje zrakoplova**

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 4715**

Pristupnik: **Mario Dukarić (0135242127)**  
Studij: **Aeronautika**  
Smjer: **Pilot**  
Usmjerenje: **Civilni pilot**

Zadatak: **Proračun eksploatacijskih parametara APU-a na zrakoplovu Airbus A320**

**Opis zadatka:**

Opisati ulogu APUpa na zrakoplovu i tehničko eksploatacijske karakteristike APUpa. Definirati režime rada APUpa u eksploataciji zrakoplova. Objasniti ulogu APUpa na zrakoplovu prilikom pokretanja motora te za rad sustava zrakoplova. Proračunati eksploatacijske parametre APUpa na zrakoplovu Airbus A320. Navesti neispravnosti u radu APUpa na temelju primjera iz eksploatacije.

Mentor:



---

doc. dr. sc. Anita Domitrović

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

### **PRORAČUN EKSPLOATACIJSKIH PARAMETARA APU-a NA ZRAKOPLOVU AIRBUS A320**

### **CALCULATION OF APU OPERATION PARAMETERS IN AIRBUS A320 AIRCRAFT**

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Student: Mario Dukarić, 0135242127

Zagreb, rujan 2018

## Sažetak:

APU je pomoćna energetska jedinica (engl. *Auxiliary Power Unit, APU*) koja omogućava rad zrakoplova na zračnim lukama koje nemaju opremu za napajanje zrakoplova iz zemaljskih izvora. Generator APU-a proizvodi električnu energiju za potrebe zrakoplova prije pokretanja glavnih motora, a odvajanjem zraka od kompresora APU-a klimatizira se kabina i pokreću se pogonski motori zrakoplova. U slučaju neke izvanredne situacije u letu služi kao pomoćni izvor električne energije i pomoću njega se ponovno pokreću glavni motori.

U ovom završnom radu opisana je uloga APU-a te je ukratko prikazana eksploatacija i održavanje APU-a. Na temelju podataka o neplaniranim otkazima tijekom određenog perioda eksploatacije, proračunati su eksploatacijski parametri APU-a za flotu zrakoplova Airbus A320.

## Ključne riječi:

Pomoćna energetska jedinica (APU), Airbus A320, eksploatacija, održavanje, srednje vrijeme između otkaza, intenzitet otkaza

## Summary:

APU (Auxiliary Power Unit) allows the functioning of airplanes in airports which do not have the equipment to power up the airplanes from a ground source. APU generator produces electric energy for the airplane before starting the main engines, and by separating air from the APU's compressor the cabin is air-conditioned and the propulsion engines are started. In case of an in-flight emergency, it serves as an auxiliary source of electric energy and it is used to restart the main engines.

This paper describes the role of the APU and it also briefly presented the ways of exploiting and maintaining the APU. By using data about unplanned failures during a certain period of exploitation, the exploitation parameters for a fleet of Airbus A320 airplanes were calculated.

## Key words:

APU, Airbus A320, operation, maintenance, MTBF, failure rate

# SADRŽAJ

1. Uvod .....	1
2. Tehničko eksploatacijske karakteristike APU-a na zrakoplovu A320 .....	3
2.1. Uloga i smještaj APU-a .....	3
2.2. Dijelovi APU-a .....	4
2.3. Princip rada APU-a .....	6
2.4. Karakteristike APU-a APS 3200 .....	7
3. Korištenje APU-a .....	9
3.1. Korištenje APU-a na stajanci prije polijetanja .....	9
3.2. Korištenje APU-a nakon polijetanja .....	10
3.3. Korištenje APU-a nakon slijetanja .....	11
3.4. Korištenje APU-a u izvanrednim situacijama .....	12
3.5. Operativna ograničenja .....	13
4. Upravljanje i nadzor APU-a .....	14
4.1. Pokretanje APU-a na zrakoplovu Airbus A320 .....	14
4.2. Gašenje APU-a na zrakoplovu Airbus A320 .....	17
4.3. Nadzor rada APU-a .....	18
5. Tehnička eksploatacija i održavanje APU-a na zrakoplovu Airbus A320 .....	20
5.1. Planirano održavanje APU-a na zrakoplovu Airbus A320 .....	20
5.2. Određivanje eksploatacijskih parametara (MTBF i intenziteta otkaza) .....	21
6. Neplanirano održavanje i proračun eksploatacijskih parametara APU-a na zrakoplovu Airbus A320 .....	23
6.1. Prikaz neplaniranih otkaza tijekom eksploatacije APU-a .....	23
6.2. Opis neplaniranih otkaza APU-a .....	26
7. Zaključak .....	27
Popis literature .....	28
Popis kratica .....	29
Popis slika .....	30
Popis tablica .....	31

# 1. Uvod

Pomoćna energetska jedinica (*engl. Auxiliary Power Unit, APU*) je neovisna energetska jedinica zrakoplova pomoću koje se pokreću glavni pogonski sustavi i pruža neovisnost zrakoplova na zemlji. Također, osigurava električnu energiju za klima uređaje i ostale elektro sustave prije polijetanja. U letu, osigurava električnu energiju u slučaju otkaza glavnih generatora koji su mehanički vezani na pogonske motore zrakoplova, a omogućuje i rad sustava dovoda kabinskog zraka pri polijetanju i penjanju te rad nekih hidrauličkih sustava.

APU je najčešće jednovratilni turbinski motor smješten u repu zrakoplova.

APU je danas sastavni sustav svakog većeg komercijalnog zrakoplova. Počeo se upotrebljavati kod vojnih zračnih brodova u Prvom svjetskom ratu od strane Britanske vojske. Na početku su to bili klipni motori male snage, oko 1.3 kW, koji su služili za pogon generatora preko kojega se opskrbljivao radioprijemnik i kao sustav dovoda zraka u slučaju nužde.

APU kakav se koristi u komercijalnom zrakoplovu počeo se upotrebljavati kod zrakoplova Boeing 727 početkom sedamdesetih godina prošlog stoljeća. APU je tako učinio zrakoplov neovisnim od vanjskih izvora energije što je bilo posebno važno na aerodromima koji nisu imali opremu za napajanje zrakoplova iz zemaljskih izvora. Najveći APU koristi se u zrakoplovu Airbus A380. Masa tog APU-a iznosi 447 kg, a snaga na vratilu 1342 kW.

Mogućnost uporabe APU-a u letu je jedan od uvjeta za dobivanje certifikata zrakoplova za operacije produženog doleta (*engl. Extended Range Twin Engine Operation, ETOPS*).

U ovom završnom radu opisana je uloga APU-a na zrakoplovu Airbus A320, dane su tehničko-eksploatacijske karakteristike te su proračunati eksploatacijski parametri za period eksploatacije od godinu dana. Konceptualno, rad je podijeljen u dva dijela, gdje je u prvom dijelu rad opisana uloga APU-a prilikom korištenja zrakoplova, a u drugom dijelu rada je težište na podacima o neplaniranih otkazima iz eksploatacije koji uzrokuju održavanje zrakoplova.

Rad je podijeljen u 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Tehničko eksploatacijske karakteristike APU-a na zrakoplovu A320
3. Korištenje APU-a
4. Upravljanje i nadzor APU-a
5. Tehnička eksploatacija i održavanje APU-a na zrakoplovu Airbus A320
6. Neplanirano održavanje i proračun eksploatacijskih parametara APU-a na zrakoplovu Airbus A320

## 7. Zaključak

Nakon uvoda, u drugom poglavlju opisuje se uloga APU-a na zrakoplovu i tehničko eksploatacijske karakteristike APU-a APS 3200, jednog od modela APU-a koji se koriste u zrakoplovu Airbus A320. Treće poglavlje bavi se uporabom APU-a na zrakoplovu u različitim situacijama. U četvrtom poglavlju opisuje se upravljanje i nadzor APU-a gledano s pozicije pilota. U petom poglavlju opisuje se eksploatacija i održavanje APU-a. U šestom poglavlju navedene su nepravilnosti koje uzrokuju neplanirano održavanje APU-a.

## 2. Tehničko eksploatacijske karakteristike APU-a na zrakoplovu A320

### 2.1. Uloga i smještaj APU-a

APU je jednovratilni turbinski motor male snage, smješten u repu zrakoplova, prikazano na slici 1, odvojen od putnika protupožarnim zidom, koji se pokreće prije paljenja glavnih motora.



Slika 1. Smještaj APU-a na zrakoplovu Airbus A320  
Izvor: <https://www.jetphotos.com/photo/8293452>, 25.7.2018.

Ugrađen je zbog toga što s njim zrakoplov postaje neovisan o opremi aerodroma, što je posebno važno na zračnim lukama koje nemaju opremu za napajanje zrakoplova iz zemaljskih izvora. Kada je zrakoplov na tlu APU opskrbljuje zrakoplov električnom i hidrauličkom energijom, klimatizira kabinu i koristi se za pokretanje glavnih motora<sup>1</sup>. U izvanrednim situacijama, u letu, APU se koristi kao izvor električne energije.

Kod pokretanja glavnih motora zrakoplova APU proizvodi komprimirani zrak koji se dovodi do zračnog turbinskog pokretača<sup>2</sup> (engl. *Air Turbine Starter*), spojenog na vratilo motora preko reduktora i kvačila, pomoću kojega se stvara zakretni moment kojim se pokreću glavni motori.

Za potrebe klimatiziranja kabine, zrak se odvaja od kompresora i dovodi do regulatora temperature zraka gdje se miješa s okolnim zrakom i pušta u kabinu.

<sup>1</sup> Moir, I., Seabridge, A.: Aircraft systems, Longman Singapore Publishers, Singapore, 1992., p. 29.

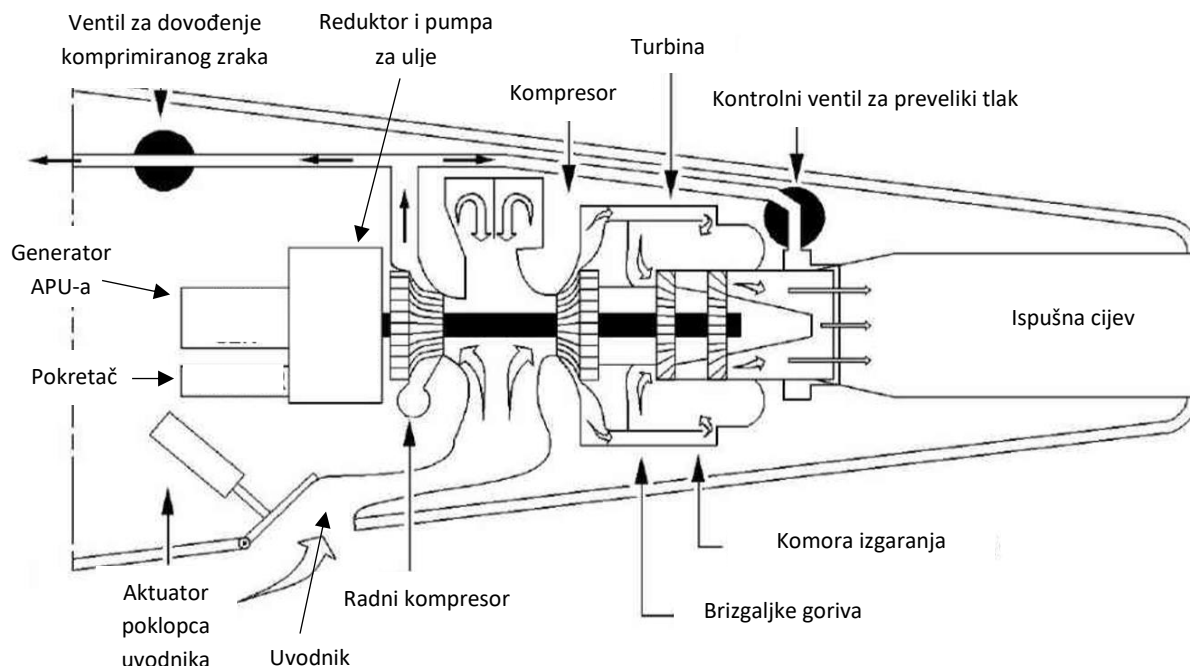
<sup>2</sup> Bazijanac, E.: Zrakoplovni mlazni motori, autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.



Električna energija za potrebe zrakoplova Airbus A320 proizvodi se generatorom izmjenične struje (engl. *Alternating Current, AC*) koji je preko reduktora spojen na vratilo motora APU-a. AC generator je trofazni, bez četkica i hlađen je uljem. Napon i frekvencija su standardni za zrakoplovne električne mreže i iznose 115V frekvencije 400Hz.

## 2.2. Dijelovi APU-a

APU na zrakoplovu Airbus A320 prikazan je na slici 2.



Slika 2. Glavni dijelovi APU-a

Izvor:

[https://www.google.hr/search?q=aps3200+description&safe=active&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwin29f-jJzdAhUFyaQKHV37Br4Q\\_AUICigB&biw=1920&bih=925#imgsrc=W0yb14nqD1NHIM;,"](https://www.google.hr/search?q=aps3200+description&safe=active&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwin29f-jJzdAhUFyaQKHV37Br4Q_AUICigB&biw=1920&bih=925#imgsrc=W0yb14nqD1NHIM;,) 30.7.2018.

Ponekad se radi razlikovanja, kompletan sklop na slici 2 naziva *Auxiliary Power System*, a samo vrtilno mlazni motor *Auxiliary Power Unit - APU*.<sup>3</sup> U ovom radu pod pojmom APU podrazumijeva se vrtilno mlazni motor, kako je prikazano na slici 2.

Glavni dijelovi APU-a su: uvodnik, poklopac uvodnika, lopatice za uvođenje zraka prema kompresoru, kompresor, komora izgaranja, turbina, ispušna cijev, elektronička kontrolna kutija i pokretač. Sustavi APU-a su: sustav za napajanje gorivom, sustav za podmazivanje, sustav odvodnje komprimiranog zraka, upravljački sustav te sigurnosni sustav za zemaljsko upravljanje.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Bazijanac, Ernest: Zrakoplovni mlazni motori, autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

<sup>4</sup> Airbus: Flight Crew Operating Manual, France, 2012., DSC-49-10-10 P 1/2

Osnovni modul APU-a je jednovratilni turbinski motor koji preko vratila dovodi mehaničku energiju do reduktora preko kojega se pokreće generator, pokretač i ostali elementi te koji proizvodi komprimirani zrak za startanje pogonskih zrakoplovnih motora. Jednovratilni turbinski motor u APU-u motor sastoji se od centrifugalnog kompresora, komore izgaranja s povratnim strujanjem i dvostupanjske aksijalne turbine. Komora izgaranja opremljena je s 9 brizgaljki goriva i 2 svjećice.<sup>5</sup>

Elektronička kontrolna kutija (engl. *Electronic Control Box*, ECB) je autonomni sustav koji većinu vremena upravlja radom APU-a. Sustav nadzire paljenje APU-a, prati temperaturu ispušnih plinova prije ulaza u turbinu i brzinu vrtnje vratila, nadzire odvodnju komprimiranog zraka, nadzire gašenje i kontrolira automatsko gašenje APU-a u slučaju nekog kvara.

Uvodnik zraka i poklopac uvodnika, koji je upravljan aktuatorom, dovode vanjski zrak do kompresora.

Električni pokretač je kontroliran od strane elektroničke kontrolne kutije. Pokretač počinje s radom ako je otvoren uvodnik, glavna sklopka stavljena u poziciju „ON“ i ako su prekidači za pokretanje APU-a stavljani na „ON“.

Kod zrakoplova Airbus A320 gorivo za napajanje APU-a crpi se iz lijevog spremnika goriva. Potreban tlak goriva osigurava se pumpama goriva koje se nalaze u spremniku goriva. U slučaju da tlak nije dovoljan automatski se pali pumpa goriva od APU-a. Protok goriva kontroliran je od strane elektroničke kontrolne kutije. Omjer zraka i goriva proračunava se u elektroničkoj kontrolnoj kutiji na temelju opterećenja APU-a.

APU ima svoj sustav za podmazivanje i hlađenje. Ulje za podmazivanje korišteno kod APU isto je kao i kod glavnih motora. Elektronička kontrolna kutija nadzire temperaturu, tlak i količinu ulja u sustavu. Ulje se također koristi za podmazivanje i hlađenje AC generatora spojenog na reduktor.

Lopatice za uvod zraka kontroliraju protok komprimiranog zraka, a postavljaju se aktuatorom. Elektronička kontrolna kutija postavlja aktuator u odrađenu poziciju u ovisnosti o potrebama zrakoplova.

Sustav odvodnje komprimiranog zraka prema kabini je potpuno automatiziran i upravljan elektroničkom kontrolnom kutijom. Elektronička kontrolna kutija uvijek postavlja vrtnju vratila na 100% za potrebe klimatiziranja kabine, osim ako je okolna temperatura između -18°C i 35°C. U tom slučaju brzina vrtnje je 99% maksimalnog broja okretaja.

Posada zrakoplova koristi kontrole na APU upravljačkom panelu za normalno gašenje APU-a. U slučaju nužde posada koristi „APU FIRE“ za gašenje, dok zemaljsko osoblje koristi „APU SHUT OFF“ gumb za gašenje koji se nalazi na panelu ispod nosa zrakoplova.

---

<sup>5</sup> Airbus: Technical Training Manual, France, 1994., p. 2.

APU može raditi bez nadzora posade u zrakoplovu, kada je zrakoplov na tlu. U slučaju požara u dijelu gdje se nalazi APU javlja se upozorenje u kokpitu zrakoplova, pali se sirena smještena u spremištu nosnog kotača zrakoplova, gasi se svjetlo dostupnosti APU-a, pali se svjetlo koje indicira grešku, APU prestaje s radom i prazne se boce za gašenje.

### 2.3. Princip rada APU-a

Snaga za pokretanje kompresora i reduktora dobivena je od pogonske jedinice.

Pretvaranjem energije pohranjene u smjesi okolnog zraka i goriva preko termodinamičkog procesa kompresije, izgaranja i ekspanzije dobiva se snaga.

U centrifugalnom kompresoru dolazi do komprimiranja zraka. Stlačeni zrak i gorivo dovode se do komore izgaranja s povratnim strujanjem. Nakon komore izgaranja smjesa plinova ekspandira i pokreće turbinu koja pokreće kompresor i reduktor.

Radni kompresor (engl. *Load Compresor*) osigurava stlačeni zrak za potrebe zrakoplova. Komprimirani zrak se dovodi kroz nekoliko ventila.

Preko zupčanika smještenih u reduktoru pokreće se AC generator.

AC generator proizvodi električnu energiju za potrebe zrakoplova.

Elektronička kontrolna kutija prikuplja različite signale od zrakoplova i APU-a koje obrađuje i prema kojima upravlja i nadzire APU.

Elektronička kontrolna kutija kontrolira:

- brzinu vrtnje vratila
- količinu zraka u kompresoru
- temperaturu ispušnih plinova
- tlak ulja
- temperaturu ulja
- vrijeme ubrzavanja
- temperaturu ispušnih plinova kod pokretanja APU-a<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Hamilton Sundstrand: APS 3200 Auxiliary Power Unit, Line Maintenance And Fault Isolation, Windsor Locks, 2006., p. 1.9.

## 2.4. Karakteristike APU-a APS 3200

APS 3200 je jednovratilni turbinski motor smješten u repu zrakoplova Airbus A320. Motor pogoni kompresor i AC generator preko reduktora. APS 3200 je jedan od tipova APU-a koji se koristi na zrakoplovu Airbus A320.

APS 3200 sastoji se od 3 glavne komponente koje su prikazane na slici 3:

- APU
- Elektronička kontrolna kutija
- Zrakoplovni sustavi (upravljajući sustavi, električki sustav, itd.)



Slika 3. Glavne komponente APS 3200

Izvor: <https://www.planespotters.net/photo/230759/9a-ctj-croatia-airlines-airbus-a320-214>, 01.08.2018.

Eksploatacijske karakteristike prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Eksploatacijske karakteristike APS 3200

Odobrena goriva	Jet A, Jet A-1, Jet B, JP-4, JP-5, JP-8
Odobrena ulja	MIL-PRF-7808, MIL-PRF-23699
Ukupna snaga	400 kW
Specifična potrošnja goriva	0.372 kg/kWh
Potrošnja goriva	148 kg/h
Električna snaga	132 kW
Pneumatska snaga	252 kW

Protok komprimiranog zraka	1.2 kg/s
Tlak komprimiranog zraka	390 kPa
Brzina vrtnje vratila	49 300 o/min
Temperatura ispušnih plinova	Na 100% temperatura iznosi 722°C
Smjer vrtnje	U smjeru kazaljke na satu (gledano sa stražnje strane)
Suha masa	136 kg
Tlak ulja	241 kPa (min), 345-414 kPa (normalno)
Kapacitet spremnika ulja	5.4 l (max), 3.9 l (min)
Temperatura ulja	135°C za sustav podmazivanja, 185°C za AC generator

Izvor: Hamilton Sundstrand: APS 3200 Auxiliary Power Unit, Line Maintenance And Fault Isolation, Windsor Locks, 2006., p. 2.1.

APU APS 3200 ugrađuje se u zrakoplove Airbus 318/319/320/321, Airbus 320 Neo, Airbus 321 Neo, Airbus A400M, Embraer KC390, Boeing Mercury E6B. Proizvođač APU-a APS 3200 je Pratt & Whitney. Glavni konkurent APS-u 3200 je APU 131-9A proizvođača Honeywell Aerospace. Uspoređujući APS 3200 i 131-9A uočava se da je 131-9A pogodniji APU za zrakoplov. APU 131-9A s 10% više snage od APS 3200 ohladi kabinu zrakoplova dvije minute brže. Godišnji troškovi održavanja APS 3200 su 63% veći od APU-a 131-9A. APU 131-9A je pouzdaniji i troši manje goriva, čime se može uštedjeti 5000\$ godišnje<sup>7</sup>.

<sup>7</sup>[https://aerocontent.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/ATR\\_Brochures-documents/131-9A\\_US.pdf](https://aerocontent.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/ATR_Brochures-documents/131-9A_US.pdf), 31.8.2018.

### 3. Korištenje APU-a

#### 3.1. Korištenje APU-a na stajanci prije polijetanja

U sljedećim tablicama prikazane su provjerne (*check*) liste koje služe za korištenje APU-a na zemlji i u letu. *Check* liste su prilagođene prema javno objavljenim standardnim operativnim postupcima jednog zračnog prijevoznika, kako je navedeno u izvoru ispod svake *check* liste.

U prijeletnom pregledu pregledava se stanje APU-a, prikazano u tablici 2. Prije polijetanja, u slučaju da je zrakoplov priključen na zemaljski izvor energije (engl. *Ground Power Unit*, GPU), APU se pali 15 minuta prije polaska ili guranja zrakoplova s parkirane pozicije.<sup>8</sup>

Tablica 2. Popis zadataka pilota u prijeletnom pregledu (prilagođeno prema navedenom izvoru)

Pilot Flying	Pilot Not Flying
	WHEEL CHOCKS .....CHECKING PLACE
	L/G DOORS ..... CHECK POS
	APU AREA ..... CHECK

Izvor: Vietnam Airlines: A320/A321 Standard Operating Procedures, Hanoi Vietnam, 2009., p. 13.1/P 1

Prije pokretanja motora provjerava se protupožarni sustav APU-a, kako je prikazano u tablici 3. Nakon utvrđivanja stanja protupožarnog sustava APU-a, pali se APU i kad je postignuta brzina vrtnje vratila od 95%, počinje se odvajati komprimirani zrak iz kompresora koji se koristi za pokretanje zrakoplovnih pogonskih motora i klimatiziranje kabine.

Tablica 3. Provjera i pokretanje APU-a (prilagođeno prema navedenom izvoru)

Pilot Flying	Pilot Not Flying
ONBOARD DOCUMENT ..... CHECK	ENG MASTERS ..... CHECK OFF
	ENG MODE SELECTOR ..... CHECK NORM
	L/G LEVER ..... CHECK DOWN
	WIPERS ..... OFF
	BAT ..... CHECK/AUTO
	EXT PWR ..... ON
	APU FIRE .....CHECK/TEST
	APU ..... START
	EXT PWR ..... AS RQRD
	COCKPIT LIGHT ..... AS RQRD
	FLAPS ..... CHECK POSITION
	SPD BRK LEVER .. CHECK RET AND DISARMED
	PARKING BRAKE ..... ON
	ACCU/BRAKES PRESS ..... CHECK

<sup>8</sup> Vietnam Airlines: A320/A321 Standard Operating Procedures, Hanoi Vietnam, 2009., p. 2.1/P 9

	ALTN BRAKING ..... CHECK
	PROBE/WINDOW HEAT ..... AUTO
	APU BLEED ..... ON
	AIR COND PANEL ..... SET
	ELEC PANEL ..... CHECK
	VENT PANEL ..... CHECK
	ECAM RECALL ..... PRESS
OEB IN QRH ..... CHECK	EMER EQPT ..... CHECK
	C/B PANELS ..... CHECK
	RAIN REPELLENT ..... CHECK
	EXT WALK AROUND ..... PERFORM

Izvor: Vietnam Airlines: A320/A321 Standard Operating Procedures, Hanoi Vietnam, 2009., p. 13.1/P 2

Nakon paljenja glavnih motora, mora se isključiti dovod zraka iz kompresora APU-a u kabinu zrakoplova kako ne bi došlo do punjenja kabine ispušnim plinovima glavnih motora, kako je naznačeno u tablici 4. U slučaju prskanja zrakoplova tekućinom protiv zaleđivanja, APU se ne smije paliti, a u slučaju da već radi mora se isključiti dovod zraka iz kompresora APU-a. APU se ne smije koristiti ni u slučaju postojanja vulkanskog pepela na aerodromu.

Tablica 4. Popis radnji nakon paljenja glavnih motora (prilagođeno prema navedenom izvoru)

Pilot Flying	Pilot Not Flying
ENG MODE SEL ..... NORM	GND SPLRS ..... ARM
APU BLEED ..... OFF	RUD TRIM ..... ZERO
ENG ANTI ICE ..... AS RQRD	FLAPS ..... SET
WING ANTI ICE ..... AS RQRD	PITCH TRIM ..... SET
APU MASTER SW ..... AS RQRD	A/SKID & N/W STRG ..... ON
ECAM STATUS ..... CHECK	ECAMDOR PAGE ..... CHECK
CLEAR TO DISCONNECT ..... ANNOUNCE	

Izvor: Vietnam Airlines: A320/A321 Standard Operating Procedures, Hanoi Vietnam, 2009., p. 13.1/P 6

### 3.2. Korištenje APU-a nakon polijetanja

Nakon polijetanja APU se koristi prema potrebi, vidljivo u tablici 5. U većini slučajeva APU se gasi, jer njegovu ulogu preuzimaju glavni motori te oni opskrbljuju zrakoplov komprimiranim zrakom i oni pogone generatore električne energije. APU se u normalnim okolnostima pali tek nakon slijetanja.

Tablica 5. Korištenje APU-a nakon polijetanja (prilagođeno prema navedenom izvoru)

Pilot Flying	Pilot Not Flying
	APU BLEED/MASTER SW ..... AS RQRD
	ENG MODE SEL ..... AS RQRD
	TCAS ..... TA/RA
	ANTI ICE ..... AS RQRD

Izvor: Vietnam Airlines: A320/A321 Standard Operating Procedures, Hanoi Vietnam, 2009., p. 13.1/P 8

### 3.3. Korištenje APU-a nakon slijetanja

Nakon slijetanja APU se pali 2 minute prije dolaska na parkirnu poziciju, kako je prikazano u tablici 6.

Tablica 6. Korištenje APU-a nakon slijetanja (prilagođeno prema navedenom izvoru)

Pilot Flying	Pilot Not Flying
GRND SPOILERS ..... DISARM	LANDING LIGHTS ..... RETRACT
	STROBE LIGHT ..... AUTO
	OTHER EXT LIGHT ..... AS RQRD
	RADAR ..... OFF/STBY
	PREDICTIVE WINDSHEAR ..... OFF
	ENG MODE SELECTOR ..... NORM
	FLAPS ..... RETRACT
	TCAS ..... SET ON STANDBY
	ATC ..... AS RQRD
	ANTI ICE ..... AS RQRD
	BRAKE TEMP ..... CHECK
	FD, ILS ..... OFF
2 minutes before parking position:	APU START ..... AS RQRD
	TAXI/RWY TURN OFF LIGHTS ..... OFF
	SLIDES DISARMING ..... ORDER

Izvor: Vietnam Airlines: A320/A321 Standard Operating Procedures, Hanoi Vietnam, 2009., p. 13.1/P 21

Neki zračni prijevoznici zahtijevaju da se APU ne upotrebljava ako postoji GPU.<sup>9</sup>

Na parkirnoj poziciji gase se glavni motori, a uključuje se dovod komprimiranog zraka iz kompresora APU-a, kao što je prikazano u tablici 7.

<sup>9</sup> Aegean: Operatins Manual Part B, List of Changes, Revision 15, Athens, 2011., p. 159.



Tablica 7. Uključivanje dovoda komprimiranog zraka iz APU-a (prilagođeno prema navedenom izvoru)

Pilot Flying	Pilot Not Flying
ACCU PRESS ..... CHECK	ANTI ICE ..... OFF
PARKING BRK ..... ON	APU BLEED ..... ON
GPU ..... AS RQRD	PACKs ..... AS RQRD
ENG MASTER 1,2 ..... OFF	Y ELEC PUMP (if ON) ..... OFF
GROUND CONTACT ..... ESTABLISH	SLIDES DISARMED ..... CHECK
BEACON LT ..... OFF	FUEL PUMPS ..... OFF
OTHER EXTERIOR LIGHTS ..... AS RQRD	ATC ..... SET ON STBY
SEAT BELTS ..... OFF	IRS PERFORMANCE ..... CHECK
PARKING BRK ..... AS RQRD	FUEL QTY ..... CHECK
DUs ..... DIM	STATUS ..... CHECK
	BRAKE FAN ..... OFF
	DUs ..... DIM

Izvor: Vietnam Airlines: A320/A321 Standard Operating Procedures, Hanoi Vietnam, 2009., p. 13.1/P 22

Prije napuštanja zrakoplova gasi se dovod komprimiranog zraka, a nakon toga i glavni prekidač APU-a, vidljivo u tablici 8.

Tablica 8. Osiguravanje zrakoplova prije napuštanja zrakoplova (prilagođeno prema navedenom izvoru)

Pilot Flying	Pilot Not Flying
PARKING BRK ..... CHECK ON	OXY CREW SUPPLY ..... OFF
ADIRS (1+2+3) ..... OFF	EXTERIOR LIGHTS ..... OFF
	MAIN BUS SWITCH ..... AS RQRD
	APU BLEED ..... OFF
	APU MASTER SWITCH ..... OFF
	EMER EXIT LIGHT ..... OFF
	NO SMOKING ..... OFF
	EXT PWR ..... AS RQRD
	BAT 1 + 2 ..... OFF

Izvor: Vietnam Airlines: A320/A321 Standard Operating Procedures, Hanoi Vietnam, 2009., p. 13.1/P 22

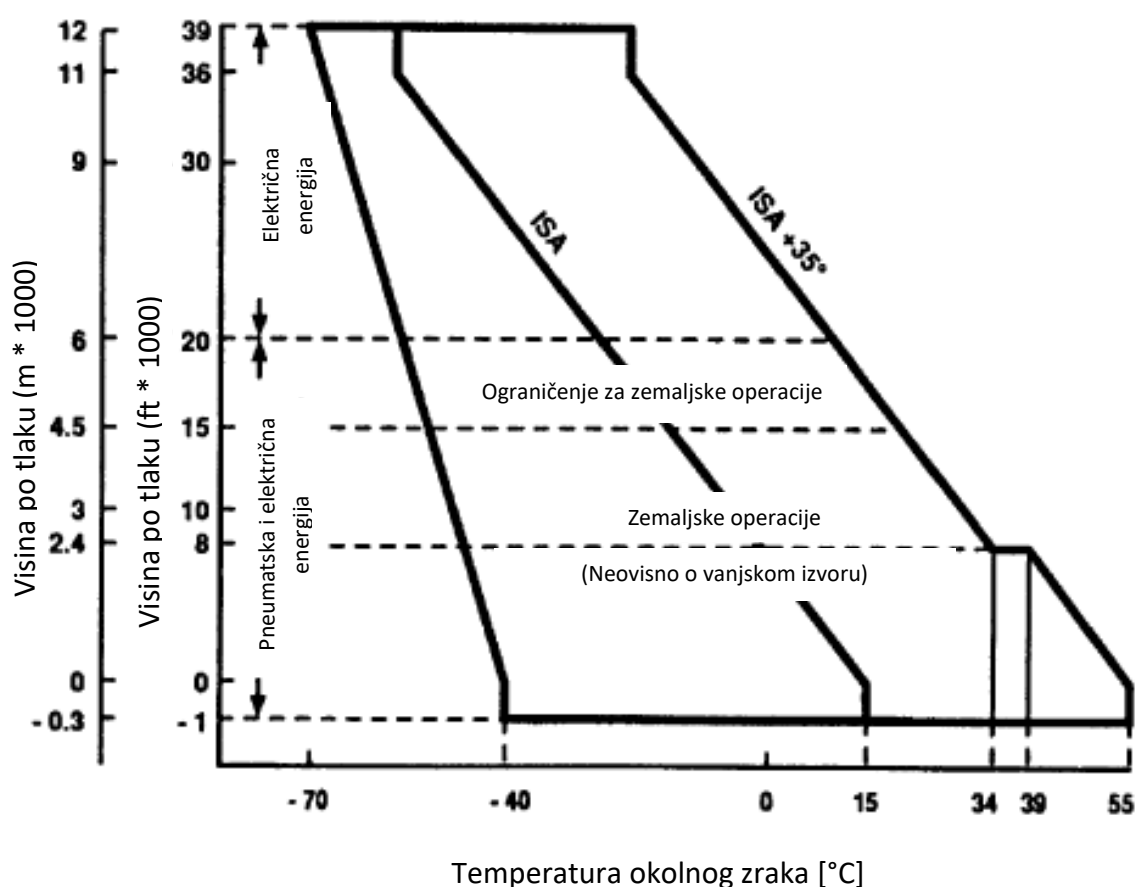
### 3.4. Korištenje APU-a u izvanrednim situacijama

Kod otkaza oba motora, APU se može upaliti ispod razine leta 250 (engl. *Flight Level*, FL 250) za pogon AC generatora, a da bi se probalo ponovno pokrenuti motore zrakoplov se mora spustiti ispod FL 200.

APU se koristi kod otkaza jednog motora ili kod otkaza generatora, kao zamjena za generator u otkazu.

### 3.5. Operativna ograničenja

APU se može koristiti do određenih temperatura i visina, kako je prikazano dijagramom na slici 4. Porastom visine i vanjske temperature smanjuju se performanse APU-a, pa se opterećenje APU-a mora smanjivati s porastom visine ili temperature, da ne dođe do prevelike temperature ispušnih plinova. APU se za zemaljske operacije može koristiti do visine 6000 m i temperature međunarodne standardne atmosfere (engl. *International Standard Atmosphere*, ISA) + 35°C. Između visina 300 m ispod srednje razine mora do visine 6000 m, APU opskrbljuje zrakoplov komprimiranim zrakom i električnom energijom. Između 6000 m i 12 000 m APU opskrbljuje zrakoplov samo električnom energijom, pa zbog toga nije moguće pokrenuti motore iznad 6000 m uz pomoć APU-a.



Slika 4. Operativna ograničenja APU-a

Izvor: [http://1.bp.blogspot.com/-\\_ijSF7XKDv4/UTlqed\\_mDOI/AAAAAAAAAWc/OIS52mKOeXs/s1600/apu1.png](http://1.bp.blogspot.com/-_ijSF7XKDv4/UTlqed_mDOI/AAAAAAAAAWc/OIS52mKOeXs/s1600/apu1.png), 05.08.2018.

## 4. Upravljanje i nadzor APU-a

### 4.1. Pokretanje APU-a na zrakoplovu Airbus A320

Sustav za pokretanje omogućava pokretanje APU-a na zemlji i u zraku.

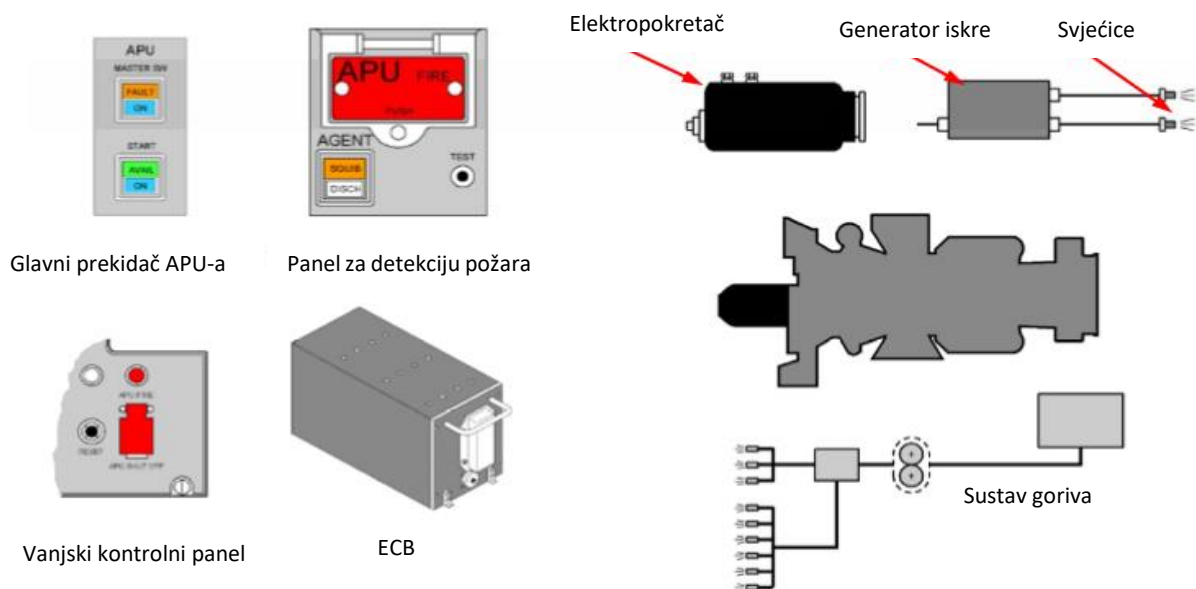
Pokretanje sustava zahtjeva:

- zakretanje vratila
- dovod goriva
- paljenje smjese goriva i zraka
- automatsku kontrolu redoslijeda paljenja

Pokretanje APU-a može se ostvariti od 300 m ispod razine mora do 11 900 m. Vrijeme pokretanja od mirovanja do normalne brzine vrtnje vratila iznosi manje od 80 s. Moguća su 3 pokušaja pokretanja nakon čega se APU mora hladiti sat vremena.

Sustav za pokretanje, prikazan na slici 5, sastoji se od sljedećih dijelova:

- elektropokretača
- generatora iskre i svjećica
- sustava goriva
- kontrolnih komponenti (ECB, glavni prekidač za APU)<sup>10</sup>



Slika 5. Dijelovi sustava za pokretanje

Izvor: Hamilton Sundstrand: APS 3200 Auxiliary Power Unit, Line Maintenance And Fault Isolation, Windsor Locks, 2006., p. 8.1.

<sup>10</sup> Hamilton Sundstrand: APS 3200 Auxiliary Power Unit, Line Maintenance And Fault Isolation, Windsor Locks, 2006., p. 8.1.

Proces paljenja APU-a započinje provjerom protupožarnog sustava APU-a, što je vidljivo u tablici 9. Nakon što je utvrđeno da je protupožarni sustav ispravan uključuje se napajanje preko akumulatora ili vanjskog izvora električne energije.

Tablica 9. Lista provjere paljenja APU-a (prilagođeno prema navedenom izvoru)

<b>APU FIRE</b>	
<b>APU FIRE pushbutton</b> .....	<b>IN AND GUARDED</b>
<b>AGENT LIGHT</b> .....	<b>OUT</b>
If the APU is already running, ensure that the following check has already been completed. If not, perform it.	
<b>APU FIRE TEST pushbutton</b> .....	<b>PRESS</b>
CHECK: - APU FIRE warning on ECAM + CRC + MASTER WARN light (if AC Power available). - APU FIRE pushbutton lighted red. - SQUIB and DISCH lights on.	
<b>APU START</b>	
If EXT PWR ON light is on:	
<b>APU MASTER switch</b> .....	<b>ON</b>
ON light comes on. APU page appears on ECAM	
<b>APU START</b> .....	<b>ON</b>
FLAP OPEN indication appears on ECAM APU page. On ECAM APU page, N and EGT rise. When N = 95%: - On ECAM APU page, AVAIL indication appears. - On APU panel: START ON light goes out. AVAIL light comes on. 10 seconds later: ECAM DOOR page replaces ECAM APU page.	
<b>EXT PWR</b> .....	<b>AS RQRD</b>
External power may be kept ON to reduce the APU load, especially in hot conditions: When APU BLEED is ON, keeping the EXT PWR ON enables to increase the bleed air flow of the APU, thus improving the efficiency of the air conditioning.	

Izvor: Aegean: Operatins Manual Part B, List of Changes, Revision 15, Athens, 2011., p. 27.

Nakon spajanja na izvor električne energije pritišće se glavna strujna sklopka APU-a (engl. *APU Master Switch*) na panelu koji se nalazi iznad pilota. Pritiskom na glavnu strujnu sklopku elektronička kontrolna kutija počinje provoditi test za pokretanje APU-a, otvara se otvor uvodnika zraka, otvara se ventil koji dovodi gorivo do APU-a i u slučaju da nije upaljena pumpa za gorivo u spremniku goriva pali se pumpa za dovod goriva do APU-a. Također, ako je zrakoplov spojen na zemaljski izvor energije na središnjem zrakoplovnom monitoru (engl. *Electronic Centralised Aircraft Monitor*, ECAM) otvara se stranica za nadzor APU-a. Poslije

otvaranja otvora uvodnika zraka na središnjem zrakoplovnom monitoru pojavljuje se poruka da je poklopac otvoren (engl. *Flap open*), kako prikazuje slika 6.



Slika 6. Poruka koja pokazuje da je otvoren poklopac uvodnika

Izvor: <https://forums.x-plane.org/index.php?/forums/topic/141753-cant-start-apu-from-cd/>, 22.08.2018.

Pritiskom na tipku za pokretanje APU-a (engl. *APU Start Switch*) dovodi se električna energija do pokretača koji nakon 1.5 sekundi počinje pokretanje APU-a. Nakon toga počinje rasti broj okretaja vratila APU-a i temperatura ispušnih plinova, kako je prikazano na slici 7.



Slika 7. Porast brzine vrtnje i temperature ispušnih plinova APU-a

Izvor: [https://www.youtube.com/watch?v=povNlySD\\_Wc](https://www.youtube.com/watch?v=povNlySD_Wc), 22.08.2018.

Nakon što brzina vrtnje dosegne 60% maksimalnog broja okretaja smatra se da se dostigla samoodrživa brzina vrtnje i gase se svjećice. Nakon što se dostigne 99% maksimalnog broja okretaja na ECAM ekranu gasi se svjetlo na prekidaču za pokretanje, piloti dobivaju poruku da je APU spreman za uporabu i postotak opterećenja generatora APU-a. Deset sekundi nakon postignuća 99% maksimalnog broja okretaja gasi se stranica za nadzor APU-a na središnjem zrakoplovnom monitoru.

## 4.2. Gašenje APU-a na zrakoplovu Airbus A320

Normalan proces gašenja APU-a započinje se pritiskom na glavnu strujnu sklopku, kako je vidljivo u tablici 10. Pritiskom na glavnu strujnu sklopku APU-a na središnjem zrakoplovnom monitoru gasi se poruka da je APU dostupan. Ako zrakoplov koristi stlačeni zrak od APU-a, on dolazi još 60 sekundi, nakon čega prestaje i kad brzina vrtnje vratila padne na 7% maksimalnog broja okretaja počinje se zatvarati poklopac uvodnika. Cijeli proces traje od jedne do dvije minute.

Tablica 10. Lista provjere za gašenje APU-a (prilagođeno prema navedenom izvoru)

AFTER START	
ENG MODE selector .....	NORM
APU BLEED .....	OFF
Turn APU BLEED off just after engine start to avoid ingesting engine exhaust gases. APU BLEED valve closes, ENG BLEED valves open.	
GROUND SPOILERS .....	ARM
RUD TRIM .....	ZERO
FLAPS lever .....	SET
PITCH TRIM .....	SET
ECAM STATUS .....	CHECK
ENG ANTI ICE .....	AS RQRD
WING ANTI ICE .....	AS RQRD
APU MASTER switch (if APU not required) .....	OFF
The AVAIL light goes off, after the APU cooling period.	
ECAM DOOR page .....	SELECT

Izvor: Aegean: Operatins Manual Part B, List of Changes, Revision 15, Athens, 2011., p. 69.

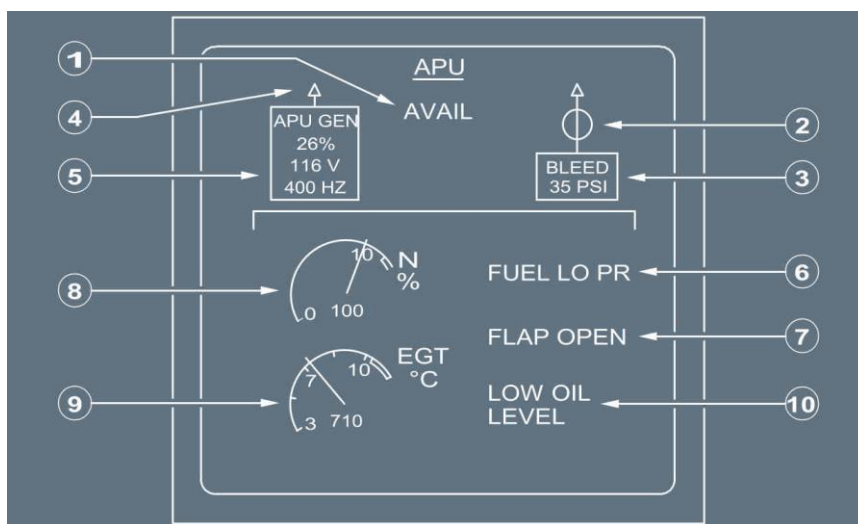
APU se gasi automatski u sljedećim slučajevima:

- kada dođe do požara na zemlji,
- kada se ne otvori poklopac uvodnika APU-a,
- kada brzina vrtnje vratila prijeđe 107%,
- kada se ne počne okretati vratilo APU-a,
- kada temperatura ispušnih plinova dosegne temperaturu od 1200°C,

- kada nema izgaranja u komori izgaranja,
- kada je brzina vrtnje vratila manja od 95%,
- kada dođe do povratnog strujanja,
- kada je tlak ulja padne do vrijednosti od 241 kPa,
- kada je temperatura ulja prijeđe vrijednost od 135°C,
- kada se isprazne zrakoplovni akumulatori,
- kada dođe do greške u radu elektroničke kontrolne kutije,
- kada dođe do gubitka sustava za zaštitu od prevelike brzine vrtnje vratila,
- kada sustav za podmazivanje prestane raditi,
- kada temperatura uvodnika bude veća od 76°C,
- kada se začepi filter ulja,
- kada dođe do prestanka rada termoparova koji mjere temperaturu ispušnih plinova<sup>11</sup>.

### 4.3. Nadzor rada APU-a

Nadzor rada APU-a vrši se na središnjem zrakoplovnom monitoru, prikazanom na slici 8.



Slika 8. Nadzor rada APU-a

Izvor: <http://airbusone.blogspot.com/2013/05/auxiliary-power-unit.html>, 24.08.2018.

Brojevi na monitoru označavaju sljedeće:

1. AVAIL - poruka se pojavljuje kada je APU dostigao brzinu vrtnje vratila od 99.5% ili 2 sekunde nakon što je dostigao brzinu vrtnje od 95%.

2. Ventil za stlačeni zrak:

- zelena vertikalna crta: APU-ov ventil za komprimirani zrak nije zatvoren

<sup>11</sup> <http://airbusone.blogspot.com/2013/05/auxiliary-power-unit.html>, 24.08.2018.

- zelena horizontalna crta: APU-ov ventil za komprimirani zrak je zatvoren
  - jantarna horizontalna crta: APU-ov ventil za komprimirani zrak je zatvoren i komprimirani zrak se dovodi u kabinu
  - jantarni XX: nije dostupna informacija o poziciji ventila za komprimirani zrak
3. tlak komprimiranog zraka - pokazuje vrijednost tlaka komprimiranog zraka
  4. indikator spojenosti generatora APU-a na mrežu - svijetli zeleno kada je sklopka zatvorena i kada je generator spojen na mrežu
  5. parametri generatora APU-a - pokazuju se parametri rada generatora APU-a
  6. FUEL LO PR - prikazuje se u jantarnoj boji kada padne tlak goriva
  7. FLAP OPEN - svijetli zeleno kada je otvoren poklopac uvodnika
  8. postotak brzine vrtnje vratila:
    - zelenom bojom prikazuje brzinu vrtnje vratila
    - u slučaju da prijeđe vrijednost od 102% postane jantarno
    - u slučaju da prijeđe vrijednost od 107% postane crveno
  9. temperatura ispušnih plinova APU-a:
    - zelenom bojom prikazuje temperaturu ispušnih plinova
    - u slučaju da temperatura ispušnih plinova dostigne temperaturu 33°C manju od maksimalne indikacija postane jantarna
    - u slučaju da temperatura ispušnih plinova dostigne maksimalnu temperaturu indikacija postane crvena
  10. LOW OIL LEVEL - poruka se prikazuje u slučaju niske razine ulja u sustavu, kada je zrakoplov na tlu i kada APU još ne radi<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> <http://airbusone.blogspot.com/2013/05/auxiliary-power-unit.html>, 24.08.2018.



## 5. Tehnička eksploatacija i održavanje APU-a na zrakoplovu Airbus A320

### 5.1. Planirano održavanje APU-a na zrakoplovu Airbus A320

Eksploatacija nekog tehničkog sredstva za rad, npr. zrakoplova ili komponente zrakoplova, u širem smislu obuhvaća korištenje, održavanje, transportiranje, kao i sve ostale aktivnosti tijekom životnog vijeka tog tehničkog sredstva<sup>13</sup>. Održavanje je skup aktivnosti koje se odvijaju tijekom eksploatacije s ciljem da se tehničko sredstvo održi ispravnim za rad.

Planirano održavanje APU-a na zrakoplovu Airbus A320 predstavlja niz aktivnosti koje su sadržane u programu održavanja, a odvijaju se u skladu s određenim intervalima, koji mogu biti izraženi kalendarski (dani, mjeseci, godine) ili sukladno satima leta (engl. *flight hours*, FH) odnosno ciklusima (engl. *flight cycles*, FC). Program održavanja izrađuje zračni prijevoznik koji koristi zrakoplov, u skladu s preporukama proizvođača. Sukladno preporukama danim od proizvođača zrakoplova Airbus A320, u tablici 11 navode se neke od glavnih aktivnosti planiranog održavanja APU-a na zrakoplovu Airbus A320.

Tablica 11. Popis zadataka redovnog održavanja APU-a

Zadatak	Interval održavanja
Detaljna inspekcija ovjesa	80 mjeseci
Generalna vizualna inspekcija ovjesa APU-a	20 mjeseci
Opća vizualna inspekcija svih protupožarnih zidova i brtvila u APU odjeljku	20 mjeseci
Detaljna inspekcija uvodnika zraka	40 mjeseci
Operativna provjera pokretnog poklopca uvodnika	48 mjeseci
Čišćenje uvodnika APU-a	Svaki 2400 FH
Opća vizualna inspekcija uvodnika	Svaki 600 FH
Operativna provjera sustava za napajanje gorivom na zaštitu od preniskog tlaka	24 mjeseca

<sup>13</sup> Bazijanac, E.: Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova, Teoretske osnove, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007.

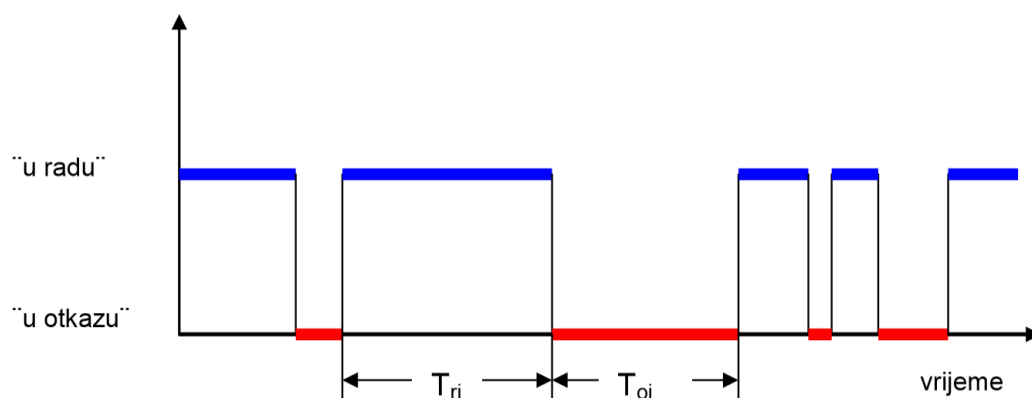
Zamjena svječića	Svaki 2250 FH ili 24 mjeseca
Provjera stanja istrošenosti četkica elektropokretača	Svaki 750 FH ili 6 mjeseci
Očitavanje sati leta APU-a i ciklusa APU-a	Svaki 500 FH
Vizualna inspekcija prigušivača ispuha	24 mjeseca
Provjera razine ulja i dolijevanje	8 dana
Zamjena filtera tlaka ulja	Svaki 3000 FH ili 24 mjeseca
Provjera APU odjeljka i kanala uvodnika od onečišćenja uljem	Svaki 7500 FH ili 50 mjeseci

Izvor: MPD-Maintenance Planning document, Airbus, Rev. Date: 01.12.2015

Redovitim održavanjem osigurava se očuvanje potrebne razine sigurnosti i pouzdanosti, s ciljem smanjenja zrakoplovnih incidenata i nesreća.

## 5.2. Određivanje eksploatacijskih parametara (MTBF i intenziteta otkaza)

Tijekom eksploatacije, za vrijeme korištenja zrakoplova ili komponente, pa tako i APU-a, izmjenjuju se stanja „u radu“ ( $T_{ri}$ ) i „stanja u otkazu“ ( $T_{oi}$ ), kako je prikazano dijagramom na slici 9.



Slika 9. Stanja sredstva

Izvor: Bazijanac, E.: Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova, Teoretske osnove, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007.

Za vrijeme stanja „u otkazu“ tehnička služba osposobljava tj. popravlja sredstvo, kako bi se iz stanja „u otkazu“ vratilo u stanje „u radu“.

Na osnovu vremena u radu i u otkazu te na osnovu podataka o otkazima sredstva, mogu se izračunati sljedeći eksploatacijski parametri:

- srednje vrijeme između otkaza (engl. *Mean Time Between Failure*, MTBF) po formuli (1)

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ri}}{n} \quad (1)$$

- Intenzitet otkaza (engl. *failure rate*) po formuli (2)

$$\lambda = \frac{n}{\sum_{i=1}^n T_{ri}} = \frac{1}{MTBF} \quad (2)$$

gdje su:

$T_{ri}$  - trajanje i-tog razdoblja ispravnog rada

$n$  – ukupan broj analiziranih razdoblja rada i otkaza.

Određivanje navedenih eksploatacijskih parametara omogućuje određivanje pouzdanosti sredstva te preciznije planiranje aktivnosti održavanja. U nastavku rada, dani su podaci o otkazima 6 APU-a za flotu zrakoplova familije Airbus A320 u periodu od godinu dana te su izračunati prethodno opisani eksploatacijski parametri.

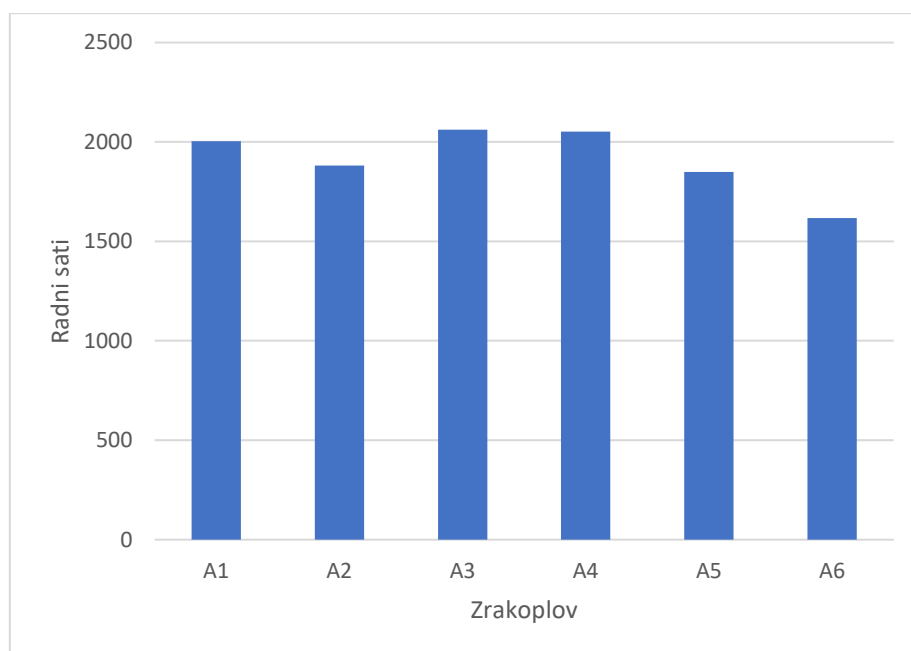
## 6. Neplanirano održavanje i proračun eksploatacijskih parametara APU-a na zrakoplovu Airbus A320

### 6.1. Prikaz neplaniranih otkaza tijekom eksploatacije APU-a

Prilikom eksploatacije, stanje „u otkazu“ može biti uzrokovano planiranim održavanjem, kako je zadano programom održavanja, što je objašnjeno u prethodnoj točki.

Aktivnosti održavanja također mogu biti i neplanirane, ako su uzrokovane neplaniranim otkazima, odnosno neispravnošću sredstva, npr. zrakoplova ili njegove komponente.

Za APU na zrakoplovu Airbus A320, promatrana je flota jednog zračnog prijevoznika, koja sadrži 6 zrakoplova Airbus familije A320<sup>14</sup>. Analizirani su podaci iz eksploatacije, za period od jedne godine, promatrano od kolovoza 2017. godine do kolovoza 2018.godine. U dijagramu na slici 10 prikazani su radni sati APU-a po zrakoplovima. Za potrebe ovog rada i zaštite podataka o zrakoplovima zračnog prijevoznika, zrakoplovi su označeni brojevima od A1 do A6. Prema podacima zračnog prijevoznika, odnos sati rada APU-a i sati leta zrakoplova je oko 1:3.



Slika 9. Broj radnih sati APU-a po zrakoplovu u periodu od kolovoza 2017. do kolovoza 2018.

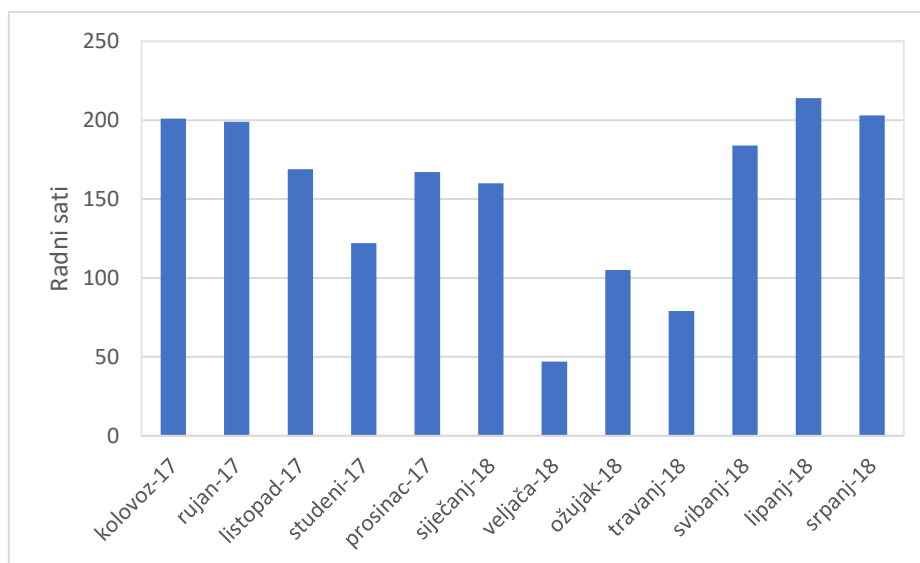
<sup>14</sup> Prema izvoru podataka tehničke službe jednog zračnog prijevoznika, konzultacije u rujnu 2018.godine.

U tablici 12 prikazani su stvarni podaci o radnim satima APU-a po zrakoplovima i za svaki mjesec, u istom periodu od jedne godine. Iz tablice je vidljivo da je rad APU-a po zrakoplovu više izražen u ljetnim mjesecima, što se opravdava time da, u ljetnim mjesecima, kada je visoka vanjska temperatura, APU ima više radnih sati nego u zimskim mjesecima, jer prije pokretanja pogonskih motora, dok je zrakoplov na zemlji, troši energiju na pogon klimatizacijskih sustava zrakoplova.

Tablica 12. Broj radnih sati APU-a po mjesecima i zrakoplovima za period od kolovoza 2017. do kolovoza 2018.

Mjesec Zrakoplov	kolovoz-17	rujan-17	listopad-17	studen-17	prosinac-17	siječanj-18	veljača-18	ožujak-18	travanj-18	svibanj-18	lipanj-18	srpanj-18	Ukupno:
A1	218	199	188	115	142	60	118	179	175	213	162	234	2003
A2	223	197	186	131	137	27	122	114	113	189	217	225	1881
A3	205	185	188	161	146	161	160	88	155	189	220	204	2062
A4	202	195	175	143	156	150	173	120	164	165	196	213	2052
A5	201	199	169	122	167	160	47	105	79	184	214	203	1850
A6	196	172	149	161	61	95	77	9	137	174	193	193	1617

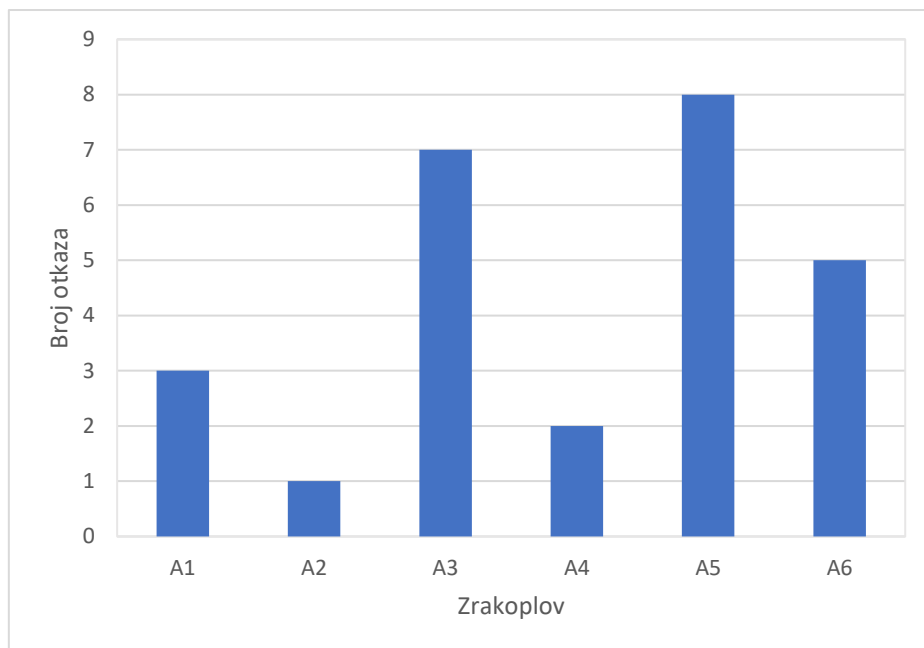
Za primjer je uzet zrakoplov A5 te su u dijagramu na slici 11 prikazani sati rada po mjesecima u navedenom periodu.



Slika 10. Broj radnih sati po mjesecima za zrakoplov A5

za period od kolovoza 2017. do kolovoza 2018. godine

Prema podacima dobivenim od tehničke službe zračnog prijevoznika, u promatranom periodu i za promatranu flotu zrakoplova, evidentiran je određeni broj otkaza APU-a po zrakoplovu. Podaci o otkazima prikazani su dijagramom na slici 12. Vidi se da najviše otkaza APU-a u floti od 6 zrakoplova, ima zrakoplov označen kao A5.



Slika 11. Broj otkaza APU-a po zrakoplovu

za period od kolovoza 2017. do kolovoza 2018. godine

Prema izrazima za srednje vrijeme između otkaza i za intenzitet otkaza, opisanim u točki 5.2., na osnovi podataka o radnim satima i podataka o neplaniranim otkazima, izračunate su vrijednosti za svaki APU, i prikazani tablicom 13.

Tablica 13. Broj otkaza, intenzitet otkaza i srednje vrijeme između otkaza za 6 APU-a

Zrakoplov	Broj radnih sati u godini dana	Broj otkaza	Intenzitet otkaza	Srednje vrijeme između otkaza [h]
A1	2003	3	0,0014977534	667,6667
A2	1881	1	0,0005316321	1881,0000
A3	2062	7	0,0033947624	294,5714
A4	2052	2	0,0009746589	1026,0000
A5	1850	8	0,0043243243	231,2500
A6	1617	5	0,0030921459	323,4000
<b>Ukupno:</b>	<b>11465</b>	<b>26</b>	<b>0,0022677715</b>	<b>440,9615</b>

S obzirom na to da zrakoplov A5 ima najveći broj otkaza u promatranom periodu, a približno sličan broj sati kao i ostali zrakoplovi, srednje vrijeme između otkaza je najkraće za zrakoplov A5, a time i najveći intenzitet otkaza.

## 6.2. Opis neplaniranih otkaza APU-a

Za promatrani period od jedne godine (od kolovoza 2017. do kolovoza 2018. godine) bilježeni su neplanirani otkazi za APU-e za promatranih 6 zrakoplova familije Airbus A320.

U tablici 14 dan je popis otkaza u promatranom periodu po zrakoplovima i datumima otkaza.

Tablica 14. Popis otkaza po datumima i zrakoplovima

Zrakoplov	Datum otkaza	Opis otkaza
A1	20.12.2017.	APU auto shutdown.
A1	12.03.2018.	APU starter-motor wear indicator fully extended.
A1	24.03.2018.	APU inop no acceleration.
A2	31.08.2018.	Brush-wear indicator pin found fully extended on APU starter motor.
A3	08.09.2017.	APU auto shutdown. A/C is dispatched I.A.E. MEL C "9.49-10-01-A REV. 7"
A3	12.02.2018.	Brush-wear indicator pin fully extended. Replacement of starter motor required.
A3	13.02.2018.	Fuel leak on APU comp. Drain mast. Fuel control pump 8022KM replacement required.
A3	27.02.2018.	During inspection found burn marks on access fairing 317AL (APU exhaust).
A3	10.03.2018.	APU auto shutdown after first and second attempt.
A3	27.03.2018.	APU auto shutdown.
A3	20.05.2018.	APU low oil level.
A4	18.01.2018.	APU fwd. vibration isolator lh&rh bonding leads is worn.
A4	17.06.2018.	APU inop A/C is airworthy I.A.E. MEL D "49-10-01 C maint. MEL procedure I.A.W. 49-10-00-040-007-A rev 52 performed. Operating procedure required refer ops proc 9-49-10-01C"
A5	12.10.2017.	APU auto shutdown N1 not more than 17% no EGT. Troubleshooting in progress.
A5	20.11.2017.	APU auto shutdown A/C is airworthy acc MEL C "9.49-10-01 A REV. 7"
A5	26.12.2017.	APU shut down. Not possible to start APU. A/C is airworthy I.A.W. MEL C "9.49 item: 49-10-01 A rev. 7. crew procedure required.
A5	10.01.2018.	APU bleed check valve found damaged.
A5	25.01.2018.	During inspection found play on APU fwd mount rod Assy.
A5	16.02.2018.	APU inop (post maintenance check flight finding APU didn't start at FL390 after 3 start attempts successful start at FL140) A/C released I.A.W. MEL C "49-10-01-A+R08"
A5	25.03.2018.	APU auto shutdown.
A5	29.04.2018.	APU auto shutdown. No spare part in dbv A/C dispatched I.A.W. MEL 9.49 item 10-01-A R.8 cop required.
A6	30.09.2017.	APU auto shutdown A/C is airworthy acc. I.A.W. MEL C "9.49-10-01A/REV 7/crew ops proc. required.
A6	10.12.2017.	APU U/S. MEL changed to MEL "D" 9.49-10-01C REV7 maintenance proc performed APU deactivated. Crew ops req.
A6	19.02.2018.	During test found strange operation of APU fuel pump when operating circuit breakers 1QC and 2QC.
A6	28.02.2018.	APU low oil press switch leak APU fwd lh isolator 4035 KM lh rod excessive play.
A6	27.03.2018.	APU - png cooling fan outlet hose clamp broken. IPC:49-52-04-50A item: 50 part ordered.

Neplanirani otkazi koji su se dogodili kod APU-a uzrokovani su:

- otkazom elektropokretača,
- curenjem goriva,
- tragom požara,
- izostankom akceleracije vratila,
- količinom ulja koja je bila manja od 3.9 l,
- tlakom ulja koji je bio manji 241 kPa,
- oštećenim ventilom goriva,
- prevelikim zazorom na spoju ovjesa,
- nepravilnim radom pumpe goriva,

Najčešći neplanirani otkaz uzrokovao je automatsko gašenje APU-a. Ono se dogodilo deset puta. Jedan od razloga zašto se APU automatski ugasio je brzina vrtnje vratila koja nije prelazila 17% i nije rasla temperatura ispušnih plinova.

## 7. Zaključak

APU je jednovratilni turbinski motor kojemu je glavna zadaća pokretanje glavnih pogonskih sustava i osiguravanje neovisnosti zrakoplova na zemlji. U letu APU služi kao pomoćni izvor energije u slučaju otkaza glavnih pogonskih sustava.

U složenim meteorološkim situacijama koristi se u svim režimima leta zrakoplova čime predstavlja neizostavan sustav svakog komercijalnog zrakoplova, pa tako i zrakoplova Airbus A320.

Proučavanjem načina upravljanja uviđa se koliko je jednostavno upravljanje APU-om, gledano s pozicije pilota, dok se u pozadini odvijaju složeni procesi.

U ovom završnom radu proračunati su eksploatacijski parametri intenzitet otkaza i srednje vrijeme između otkaza na temelju kojih se određuje pouzdanost sredstva i na temelju kojih se preciznije planiraju aktivnosti održavanja s ciljem povećanja sigurnosti. Također u radu su navedeni neki otkazi koji uzrokuju neplanirano održavanje.

Ovim završnim radom pokazana je važnost APU-a na zrakoplovu, kao i važnost pravilnog održavanja APU-a.



## Popis literature

1. Airbus: Flight Crew Operating Manual, France, 2012.
2. Airbus: Technical Training Manual, France, 1994.
3. Aegean: Operatins Manual Part B, List of Changes, Revision 15, Athens, 2011.
4. Bazijanac, E.: Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova, Teoretske osnove, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007.
5. Bazijanac, E.: Zrakoplovni mlazni motori, autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
6. Hamilton Sundstrand: APS 3200 Auxiliary Power Unit, Line Maintenance And Fault Isolation, Windsor Locks, 2006.
7. Moir, I., Seabridge, A.: Aircraft systems, Longman Singapore Publishers, Singapore, 1992.
8. Vietnam Airlines: A320/A321 Standard Operating Procedures, Hanoi Vietnam, 2009.
9. Podaci tehničke službe jednog zračnog prijevoznika, konzultacije u rujnu 2018.godine.
10. URL: <http://airbusone.blogspot.com/2013/05/auxiliary-power-unit.html> (pristupljeno: kolovoz 2018.)
11. URL: [https://aerocontent.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/ATR\\_Brochures-documents/131-9A\\_US.pdf](https://aerocontent.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/ATR_Brochures-documents/131-9A_US.pdf) (pristupljeno: kolovoz 2018.)

## Popis kratica

AC	(Alternating Current) izmjenična struja
APU	(Auxiliary Power Unit) pomoćna pogonska jedinica
ECB	(Electronic Control Box) elektronička kontrolna kutija
ECAM	(Electronic Centralised Aircraft Monitor) središnji zrakoplovni monitor
ETOPS	(Extended Range Twin Engine Operation) operacije produženog doleta
FC	(Flight Cycles) ciklus
FH	(Flight Hour) sat leta
FL	(Flight Level) razina leta
GPU	(Ground Power Unit) zemaljski izvor energije
ISA	(International Standard Atmosphere) međunarodna standardna atmosfera
MTBF	(Mean Time Between Failure) srednje vrijeme između otkaza

## Popis slika

Slika 1. Smještaj APU-a na zrakoplovu Airbus A320.....	3
Slika 2. Glavni dijelovi APU-a.....	4
Slika 3. Glavne komponente APS 3200.....	7
Slika 4. Operativna ograničenja APU-a.....	13
Slika 5. Dijelovi sustava za pokretanje .....	14
Slika 6. Poruka koja pokazuje da je otvoren poklopac uvodnika .....	16
Slika 7. Porast brzine vrtnje i temperature ispušnih plinova APU-a .....	16
Slika 8. Nadzor rada APU-a.....	18
Slika 10. Broj radnih sati APU-a po zrakoplovu u periodu od kolovoza 2017. do kolovoza 2018. .....	23
Slika 11. Broj radnih sati po mjesecima za zrakoplov A5 za period od kolovoza 2017. do kolovoza 2018. godine.....	24
Slika 12. Broj otkaza APU-a po zrakoplovu za period od kolovoza 2017. do kolovoza 2018. godine.....	25

## Popis tablica

Tablica 1. Eksploatacijske karakteristike APS 3200 .....	7
Tablica 2. Popis zadataka pilota u prijeletnom pregledu (prilagođeno prema navedenom izvoru).....	9
Tablica 3. Provjera i pokretanje APU-a (prilagođeno prema navedenom izvoru) .....	9
Tablica 4. Popis radnji nakon paljenja glavnih motora (prilagođeno prema navedenom izvoru) .....	10
Tablica 5. Korištenje APU-a nakon polijetanja (prilagođeno prema navedenom izvoru).....	11
Tablica 6. Korištenje APU-a nakon slijetanja (prilagođeno prema navedenom izvoru) .....	11
Tablica 7. Uključivanje dovoda komprimiranog zraka iz APU-a (prilagođeno prema navedenom izvoru).....	12
Tablica 8. Osiguravanje zrakoplova prije napuštanja zrakoplova (prilagođeno prema navedenom izvoru).....	12
Tablica 9. Lista provjere paljenja APU-a (prilagođeno prema navedenom izvoru) .....	15
Tablica 10. Lista provjere za gašenje APU-a (prilagođeno prema navedenom izvoru) .....	17
Tablica 11. Popis zadataka redovnog održavanja APU-a .....	20
Tablica 12. Broj radnih sati APU-a po mjesecima i zrakoplovima za period od kolovoza 2017. do kolovoza 2018. ....	24
Tablica 13. Broj otkaza, intenzitet otkaza i srednje vrijeme između otkaza za 6 APU-a.....	25
Tablica 14. Popis otkaza po datumima i zrakoplovima .....	26



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada

pod naslovom **Proračun eksploatacijskih parametara APU-a na zrakoplovu Airbus A320**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student:

U Zagrebu, 11.9.2018. \_\_\_\_\_

*Marko Đulović*  
(potpis)